

日本国特許庁

JAPAN PATENT OFFICE

/502490

PCT/JP03/00163

10.01.03

13 JUL 2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2002年 1月16日

出願番号

Application Number:

特願2002-007059

[ST.10/C]:

[JP2002-007059]

出願人

Applicant(s):

ティーディーケー株式会社

REC'D 28 MAR 2003

WIPO

PCT

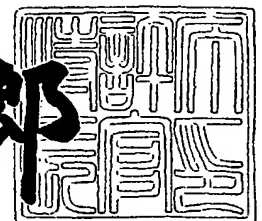
PRIORITY
DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 3月11日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3008116

【書類名】 特許願

【整理番号】 P-03564-2X

【提出日】 平成14年 1月16日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01F 10/16
H01F 17/00

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目13番1号 ティーディーケー株式会社内

 【氏名】 崔 京九

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市緑区長津田町4259

 【氏名】 山崎 陽太郎

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目13番1号 ティーディーケー株式会社内

 【氏名】 村瀬 琢

【特許出願人】

 【識別番号】 000003067

 【氏名又は名称】 ティーディーケー株式会社

 【代表者】 澤部 肇

【代理人】

 【識別番号】 100098006

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 皿田 秀夫

 【電話番号】 03-3255-7888

【選任した代理人】

 【識別番号】 100095463

 【弁理士】

【氏名又は名称】 米田 潤三

【電話番号】 03-3255-7888

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 066224

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 高周波用磁性薄膜およびそれを用いた磁気素子

【特許請求の範囲】

【請求項1】 Co系非結晶質合金層とFe-C層とを交互に積層して多層膜構造とした高周波用磁性薄膜であって、

前記Fe-C層の厚さをT1、前記Co系非結晶質合金層の厚さをT2とした場合に、 $T1/T2$ の比が0.15～3.50の範囲にあり、かつFe-C層の厚さT1が、3～70nmの範囲内にあることを特徴とする高周波用磁性薄膜。

【請求項2】 成膜完了時であるas-depo.の状態、1GHzにおける複素透磁率の実数部(μ')が400以上で、かつ性能指数Q($Q = \mu' / \mu''$)が4以上、飽和磁化が1.4T(14kG)以上の特性を備えてなる請求項1に記載の高周波用磁性薄膜。

【請求項3】 前記Co系非結晶質合金層は、Coを主成分とし、B, C, Si, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Y, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta, Wから選択される少なくとも1種の添加元素を含んで形成される請求項1または請求項2に記載の高周波用磁性薄膜。

【請求項4】 前記Co系非結晶質合金層は、CoZr, CoHf, CoNb, CoMo, CoZrNb, CoZrTa, CoFeZr, CoFeNb, CoTiNb, CoZrMo, CoFeB, CoZrNbMo, CoZrMoNi, CoFeZrB, CoFeSiB, CoZrCrMoから選択される請求項1ないし請求項3のいずれかに記載の高周波用磁性薄膜。

【請求項5】 前記Fe-C層は、その中に含有される炭素濃度が2～20at%である請求項1ないし請求項4のいずれかに記載の高周波用磁性薄膜。

【請求項6】 高周波用磁性薄膜を有する磁気素子であって、

前記高周波用磁性薄膜は、Co系非結晶質合金層とFe-C層とが交互に積層された多層膜であり、

前記Fe-C層の厚さをT1、前記Co系非結晶質合金層の厚さをT2とした場合に、 $T1/T2$ の比が0.15～3.50の範囲にあり、かつFe-C層の厚さT1が、3～70nmの範囲内にあることを特徴とする磁気素子。

【請求項7】 コイルを挟持するように対向配置された高周波用磁性薄膜を有する平面型の磁気素子であって、

前記高周波用磁性薄膜は、C o系非結晶質合金層とF e-C層とが交互に積層された多層膜であり、

前記F e-C層の厚さをT1、前記C o系非結晶質合金層の厚さをT2とした場合に、 $T1/T2$ の比が0.15～3.50の範囲にあり、かつF e-C層の厚さT1が、3～70nmの範囲内にあることを特徴とする磁気素子。

【請求項8】 前記平面型の磁気素子がインダクタである請求項7に記載の磁気素子。

【請求項9】 前記平面型の磁気素子がトランスである請求項7に記載の磁気素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、高い飽和磁化を有するとともに、GHzの高周波帯域で高い透磁率および性能指数Qを示す磁性薄膜に関し、特に、薄膜インダクタや薄膜トランスなどの高周波用平面型磁気素子に用いられる磁性薄膜に関する。

【0002】

【従来の技術】

磁気素子の小型化、高性能化に伴い、高い飽和磁化を有し、かつGHzの高周波数帯域における透磁率が高い磁性薄膜材料が求められている。

【0003】

従来、高い飽和磁化を持つ磁性材料としてF eあるいはF eを主成分とする微結晶または非結晶質合金が良く知られている。ところが、F e系合金の磁性膜をスパッタなどの成膜技術により作製すると、その膜の飽和磁化は高いものの、保磁力が大きく、また、比抵抗が小さくなってしまい良好な高周波特性を得ることは困難であった。

【0004】

ところで、軟磁気特性が優れている材料として、C o系非結晶質合金が知られ

ている。このCo系非結晶質合金は、Coを主成分としY, Ti, Zr, Hf, Nb, Taなどから選択される1種または2種以上の元素を含む非結晶質を主体とするものである。ところがゼロ磁歪組成のCo系非結晶質合金の磁性膜をスパッタなどの成膜技術により作製すると、その膜の透磁率は大きいものの、飽和磁化が11kG(1.1T)程度であり、Fe系に比べて小さい。さらに、百MHz程度の周波数およびこれを超えてから損失成分(透磁率の虚数部 μ'')が大きくなり、性能指数Q値が1以下となり、GHzの高周波帯域で使用する磁性材料としては好適とは言えない。

【0005】

このような実情のもとに従来より、軟磁性薄膜の高周波特性を改良するために種々の提案がなされてきた。その改良の基本方針としては、渦電流損失を抑制させたり、あるいは共鳴周波数を上昇させることなどが挙げられる。渦電流損失を抑制させる具体的な方策としては、例えば、磁性層/絶縁層(高抵抗層)との積層による多層化(例えば、特開平7-249516号公報)や、金属-非金属(酸化物、フッ化物)のグラニューラー化(例えば、J. Appl. Phys. 79, 5130 (1996))などが提案されている。しかしながら、これらの方法では、高抵抗の非磁性相が挿入されているために、飽和磁化が低下するという問題が生じる。また、金属-非金属のグラニューラー膜の場合は、透磁率が200以下であり、透磁率が低いという問題もある。

【0006】

一方、軟磁性層と高飽和磁化層を相互に積層した多層膜による高飽和磁化薄膜についての検討も行われている。すなわち、CoZr/Fe(日本応用磁気学会誌、16, 285 (1992))、FeBN/FeN(特開平5-101930号公報)、FeCrB/Fe(J. Appl. Phys. 67, 5131 (1990))、Fe-Hf-C/Fe(日本応用磁気学会誌、15, 403 (1991))など様々な組み合わせの例が報告されている。これらのものはいずれも飽和磁化を高くすることには効果がある。しかしながら、これらのものはいずれも高周波帯域での透磁率が大きくなり、GHz周波数帯域への応用は期待できない。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

このような実状のもとに本発明は創案されたものであり、その目的は、GHz帯域の高周波領域で、高い透磁率を有し、かつ高い飽和磁化を有する高周波用磁性薄膜を提供することにある。

【0008】

ところで、薄膜インダクタなどの平面型磁気素子においては、それぞれの素子の設計仕様に応じた最適な透磁率を提供することが要望される。高周波帯域における透磁率は、異方性磁界と相関が高く、高周波帯域における透磁率は異方性磁界の逆数に比例する。高周波帯域における高透磁率を実現するためには、磁性膜面内で一軸異方性を有することが必要である。また、薄膜インダクタなどの平面型磁気素子では、磁性膜の飽和磁化が高いほど直流重畳特性が期待できる。そのため、飽和磁化の大きさは、高周波用磁性薄膜の設計において重要なパラメータといえる。

【0009】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本発明は、Co系非結晶質合金層とFe-C層とを交互に積層して多層膜構造とした高周波用磁性薄膜であって、前記Fe-C層の厚さをT1、前記Co系非結晶質合金層の厚さをT2とした場合に、 $T1/T2$ の比が0.15～3.50の範囲にあり、かつFe-C層の厚さT1が、3～70nmの範囲内にあるように構成される。

【0010】

また、本発明の高周波用磁性薄膜は、好ましい態様として、成膜完了時であるas-depo.の状態、1GHzにおける複素透磁率の実数部(μ')が400以上で、かつ性能指数Q($Q = \mu' / \mu''$)が4以上、飽和磁化が1.4T(14kG)以上の特性を備えてなるように構成される。

【0011】

また、本発明の好ましい態様として、前記Co系非結晶質合金層は、Coを主成分とし、B, C, Si, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Y, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta, Wから選択される少なくとも1種の添加元素を含んで形成

される。

【0012】

また、本発明の好ましい態様として、前記C o系非結晶質合金層は、C o Z r, C o H f, C o N b, C o M o, C o Z r N b, C o Z r T a, C o F e Z r, C o F e N b, C o T i N b, C o Z r M o, C o F e B, C o Z r N b M o, C o Z r M o N i, C o F e Z r B, C o F e S i B, C o Z r C r M oから選択されるように構成される。

【0013】

また、本発明の好ましい態様として、前記F e - C層は、その中に含有される炭素濃度が2 ~ 2 0 a t %であるように構成される。

【0014】

本発明は、高周波用磁性薄膜を有する磁気素子であって、前記高周波用磁性薄膜は、C o系非結晶質合金層とF e - C層とが交互に積層された多層膜であり、前記F e - C層の厚さをT1、前記C o系非結晶質合金層の厚さをT2とした場合に、T1/T2の比が0. 1 5 ~ 3. 5 0の範囲にあり、かつF e - C層の厚さT1が、3 ~ 7 0 n mの範囲内にあるように構成される。

【0015】

本発明は、コイルを挟持するように対向配置された高周波用磁性薄膜を有する平面型の磁気素子であって、前記高周波用磁性薄膜は、C o系非結晶質合金層とF e - C層とが交互に積層された多層膜であり、前記F e - C層の厚さをT1、前記C o系非結晶質合金層の厚さをT2とした場合に、T1/T2の比が0. 1 5 ~ 3. 5 0の範囲にあり、かつF e - C層の厚さT1が、3 ~ 7 0 n mの範囲内にあるように構成される。

【0016】

また、本発明の平面型の磁気素子における好ましい態様が、インダクタであるように構成される。

【0017】

また、本発明の平面型の磁気素子における好ましい態様が、トランスであるように構成される。

【0018】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の高周波用磁性薄膜について詳細に説明する。

【0019】

本発明の高周波用磁性薄膜1は、図1の模式的断面図に示されるように、Co系非結晶質合金層3とFe-C層7とが交互に積層された多層膜構造をなす複合磁性薄膜1である。図1に示される実施形態では合計8層からなる多層膜構造が例示されている。

【0020】

本発明において、Fe-C層7の厚さを T_1 、Co系非結晶質合金層3の厚さを T_2 とした場合に、 T_1/T_2 の比は0.15～3.50、好ましくは0.25～2.50とされる。この値が、3.50を超えると、Fe-C層7の成膜時に柱状構造が現れ、異方性磁界および磁化困難軸方向の保磁力(H_{ch})が急に増大するなどして垂直磁気異方性が発生するために、良好な軟磁性特性を得ることができなくなるという不都合が生じてしまう。また、この値が0.15未満となると本発明が目標とする十分な飽和磁化、具体的には、1.4 T (14 kG) 以上の飽和磁化を得ることができなくなってしまうという不都合が生じてしまう。

【0021】

また、本発明におけるFe-C層7の厚さ(T_1)は、3～70 nm、好ましくは5～50 nmとされる。このような膜厚範囲(3～70 nm)で、1 GHzにおける複素透磁率の実数部(μ')が400以上で、かつ性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) が4以上という極めて優れた特性を有する複合磁性薄膜の実現が可能となる。なお、このような特性の測定は、成膜完了時であるas-depo.の状態の複合磁性薄膜で測定される。

【0022】

本発明の高周波用磁性薄膜1 (複合磁性薄膜1) において、相互に積層されるFe-C層7およびCo系非結晶質合金層3の合計積層回数に関する制限はないが、通常、5～150回、好ましくは10～80回程度とされる。複合磁性薄膜の中で同一種類 (Fe-C層7またはCo系非結晶質合金層3) の膜厚は、通常

、同じ膜厚となるように形成される。ただし、稀なケースとして、同一種類の膜であっても、積層箇所によって成膜厚さを他の部分と異ならしめることがあり得る。極端な例として、例えば、中間付近のFe-C層7の膜厚を20nm、上下のFe-C層7の2層の膜厚をそれぞれ5nmとするような仕様も場合によってはあり得る。このような場合、本願におけるFe-C層7の厚さ(Tf)は、算術平均により算出すればよい。すなわち、算術平均値である $Tf=10\text{nm}$ という数値を採択して、例えば Tf/Tc の比を求めるようにすればよい。Co系非結晶質合金層3についても同様に考えればよい。

【0023】

このような本発明の高周波用磁性薄膜1（複合磁性薄膜1）の厚さは、100～2000nm、好ましくは300～1000nmとされる。この値が、100nm未満であると、平面型磁気素子に应用する場合、所望のパワーを扱うことが困難になるという不都合が生じ得る。また、この値が、2000nmを超えると、表皮効果による高周波損失が堅調になり、GHz帯域の損失が増大するという不都合が生じ得る。

【0024】

本発明の高周波用磁性薄膜1（複合磁性薄膜1）を構成するCo系非結晶質合金層3は、Coを主成分とし、B, C, Si, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Y, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta, Wから選択される少なくとも1種の添加元素を含んで形成されており、このものは非結晶質相を主体として構成されている。添加元素の割合（2種以上の場合は総和量）は、通常、5～50at%、好ましくは、10～30at%とされる。添加元素の割合が多くなり過ぎると、飽和磁化が小さくなってしまいうという不都合が生じ、また、添加元素の割合が少なくなり過ぎると、磁歪の制御が困難となり、有効な軟磁気特性が得られなくなるという不都合が生じる。

【0025】

Co系非結晶質合金層3を構成する好適な化合物例としては、CoZr, CoHf, CoNb, CoMo, CoZrNb, CoZrTa, CoFeZr, CoFeNb, CoTiNb, CoZrMo, CoFeB, CoZrNbMo, Co

ZrMoNi, CoFeZrB, CoFeSiB, CoZrCrMoなどが挙げられる。

【0026】

また、本発明の高周波用磁性薄膜1（複合磁性薄膜1）を構成するFe-C層7は、その中に含有される炭素濃度が2～20at%、好ましくは4～10at%とされる。

【0027】

この炭素濃度が2at%未満であると、柱状構造の結晶が基板に対して垂直方向に成長しやすくなり、保磁力が大きくなるとともに、比抵抗が小さくなってしまい、良好な高周波特性を得ることが困難となってしまう。この一方で、この炭素濃度が20at%を超えると、異方性磁界が減少するために共鳴周波数の低下が生じて、高周波用の薄膜として十分に機能することが困難となってしまう。

【0028】

本発明の複合磁性薄膜1は、真空薄膜形成方法、特にスパッタ法により形成されることが好ましい。より具体的には、RF2極スパッタ、DCスパッタ、マグネトロンスパッタ、3極スパッタ、イオンビームスパッタ、対向ターゲット式スパッタなどが用いられる。

【0029】

Co系非結晶質合金層3を形成するためのターゲットとしては、Coターゲット上に、所望の添加元素のペレットを配置した複合ターゲットを用いたり、所望の添加成分を含有するCo合金のターゲットを用いたりすればよい。

【0030】

Fe-C層7を形成するためのターゲットとしては、Feターゲットの上に、C（炭素）ペレットを配置した複合ターゲットを用いればよい。C濃度の調整は、例えば、C（炭素）ペレットの量を調整するようにすればよい。

【0031】

本発明の高周波用磁性薄膜1は、数100MHz以上の周波数帯域、特に、1GHz以上のGHz周波数帯域で使用される。このような高周波帯域における透磁率（以下、単に「高周波透磁率」と称す）は、試料の様々な物性と複雑に関係

する物性である。この透磁率がもっとも関係が密なものとして、異方性磁界と飽和磁化がある。概ね、透磁率と共鳴周波数の積は、異方性磁界の $1/2$ 乗および飽和磁化の $3/2$ 乗に比例する関係にある。ここで、共鳴周波数は、

$$f_r = (\gamma / 2\pi) [H_k 4\pi M_s]^{1/2} \quad \dots \text{式 (1)}$$

という関係式 (1) で表される。ここで、 f_r は共鳴周波数を表し、 γ はジャイロ磁気定数を表し、 H_k は異方性磁界を表し、 $4\pi M_s$ は飽和磁化を表している。

【0032】

従って、材料の異方性磁界および飽和磁化を大きくすることで共鳴周波数を上げ、使用限界周波数を上げることが可能となる。従来の Co 系非結晶質合金薄膜の代表的な一例である CoZrNb 非結晶質薄膜の共鳴周波数を 2 GHz まで向上させるための必要な異方性磁界を上記式 (1) を用いて計算してみる。すると、440 e 以上の異方性磁界を必要とすることが算出される。この算出結果により、通常、150 e 程度の異方性磁界しか持たない当該膜を、GHz 周波数帯域へ応用することは困難であることが分かる。ところが、2 GHz の共鳴周波数を実現するために必要とされる異方性磁界は、飽和磁化が 1.4 kG の場合は 360 e、1.8 kG の場合は 280 e となり、飽和磁化および結晶磁気異方性が大きい Fe 系との組み合わせにより必要な飽和磁化および異方性磁界を実現することが期待できる。このような発想の基に本願発明は創案されたものである。

【0033】

すなわち、本発明は、上述のごとく軟磁気特性に優れている Co 系非結晶合金の薄膜と、高飽和磁化かつ高異方性磁界を持つ Fe-C の薄膜とを交互に積層させて、GHz 領域 (1 GHz) で透磁率の実数部 (μ') が 400 以上で、かつ性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) が 4 以上、飽和磁化が 1.4 T (14 kG) 以上を示す複合磁性薄膜 1 を提供しているのである。GHz 領域 (1 GHz) で透磁率の実数部 (μ') はできるだけ大きな値をとることが望まれ、特に上限値はない。同様に、飽和磁化についてもできるだけ大きな値をとることが望まれ、特に上限値はない。

【0034】

従来より、Fe あるいは Fe を主成分とする微結晶または非結晶質合金は高飽

和磁化を示す材料として広く知られていた。しかしながら、Fe系合金の磁性膜をスパッタなどの成膜技術により作製すると、飽和磁化は高いものの、保磁力が大きく、また比抵抗が小さくなってしまい良好な高周波特性を得ることが困難であった。その主原因としては、以下のことが考えられていた。すなわち、スパッタなどで成膜したFe系の薄膜は、基板の垂直方向に柱状に成長しており、この柱状構造に起因する垂直磁気異方性の発生が問題とされていた。しかしながら、本願出願にかかる発明者らが鋭意研究したところ、Feに添加成分としての炭素を所定量添加させたFe-C薄膜においては、図11に示されるように、厚さが約70nmまでの成膜初期段階では柱状構造への成長が抑制されており、Fe-C薄膜の厚さが約70nmまでの範囲内のものを用い、このFe-C薄膜と、Co系非結晶質合金とを積層する形態を採択すれば、軟磁性特性が劣化しないことを見出したのである。

【0035】

本発明の高周波用磁性薄膜1（複合磁性薄膜1）が形成される基板2（図1）としては、ガラス基板、セラミック材料基板、Siウエハ基板、樹脂基板等が例示できる。セラミック材料としては、アルミナ、ジルコニア、炭化珪素、窒化珪素、窒化アルミニウム、ステアタイト、ムライト、コージライト、フォルステライト、スピネル、フェライトなどが挙げられる。中でも熱伝導率が大きく、曲げ強度も大きい窒化アルミニウムを用いることが好ましい。また、Siウエハ基板は、本発明の高周波磁性薄膜を利用した平面型磁気素子と半導体デバイスを集積化する場合に用いられる。

【0036】

本発明の高周波用磁性薄膜1の具体的な成膜方法については、後述の実施例を参照されたい。

【0037】

平面型の磁気素子をインダクタに応用した一例が図2および図3に示される。図2は、インダクタの平面図を模式的に示したものであり、図3は図2のA-A矢視断面を模式的に示した図面である。

【0038】

これらの図面に示されるインダクタ10は、基板11と、この基板11の両面にスパイラル状に形成された平面コイル12、12と、これらの平面コイル12、12と基板11面を覆うように形成された絶縁膜13、13と、これの各々の絶縁膜13の上を覆うように形成された一対の本発明の高周波用磁性薄膜1とを備えている。そして、上記2つの平面コイル12、12は、基板11の略中央部分に形成されたスルーホール15を介して電氣的に接続されている。さらに、基板11の両面の平面コイル12、12からそれぞれ接続のための端子16が基板11の外方に引き出されている。このようなインダクタ10は、一対の高周波用磁性薄膜1によって、絶縁膜13、13を介して平面コイル12、12を挟むように構成されているので、接続端子16、16間にインダクタが形成される。

【0039】

このように形成されたインダクタは、小型かつ薄型軽量で、特に1GHz以上の高周波帯域で優れたインダクタンスを示す。

【0040】

なお上記説明したインダクタにおいて、平面コイル12を並列的に複数設けることによりトランスを形成することができる。

【0041】

本発明の平面型磁気素子をインダクタに応用した他の好適な実施の形態が図4に示される。図4は、インダクタの断面を模式的に示したものである。この図に示されるようにインダクタ20は、基板21と、この基板21の上に必要に応じて形成される酸化膜22と、この酸化膜22の上に形成された本発明の高周波用磁性薄膜1aと、この磁性薄膜1aの上に形成された絶縁膜23を備え、さらにこの絶縁膜23の上に形成された平面コイル24と、これらの平面コイル24と絶縁膜23を覆うように形成された絶縁膜25と、この絶縁膜25の上に形成された本発明の高周波用磁性薄膜1bとを有している。このように形成されたインダクタ20もやはり、小型かつ薄型軽量で、特に1GHz以上の高周波帯域で優れたインダクタンスを示す。そしてこのようなインダクタにおいて、平面コイル24を並列的に複数設けることによりトランスを形成することができる。

【0042】

【実施例】

以下、具体的実施例を示し、本発明をさらに詳細に説明する。

【0043】

〔実施例1〕

以下の成膜手法に従って本発明の複合磁性薄膜サンプル1を作製した。

Siウェハの上にSiO₂を100nmの厚さに成膜したものを基板として用いた。

【0044】

対向ターゲット式スパッタ装置を用いて、下記の要領で基板上に複合磁性薄膜を形成(deposit)させた。すなわち、対向ターゲット式スパッタ装置内を 8×10^{-5} Paまで予備排気した後、圧力が10PaになるまでArガスを導入した後、100WのRFパワーで10分間、基板表面をスパッタエッチングした。

【0045】

次いで、圧力が0.4PaになるようにArガスの流量を調整し、300WのパワーでCo₈₇Zr₅Nb₈ターゲット、およびFeターゲット上にC(炭素)ペレットを配置した複合ターゲットを、順次交互に繰り返しスパッタリングして後述する仕様からなる複合磁性薄膜を成膜(deposit)させた。

【0046】

成膜時には基板に-40~-80VのDCバイアスを印加した。また、ターゲット表面の不純物の影響を防止するためにシャッターを閉めた状態で10分以上ブリスパッタリングを行った。その後、シャッターを空けることにより基板上に成膜を行った。成膜速度(rate)は、CoZrNb層の成膜時で0.33nm/秒、Fe-C層の成膜時で0.27nm/秒とした。シャッターの開閉時間を制御することで交互に積層される各層の膜厚を調整した。基板上の第1層目としてCoZrNb層を成膜した後、その上にFe-C層を形成し、以下順次CoZrNb層とFe-C層とを交互に積層した。

【0047】

このような成膜手法に基き、厚さ20nmのCoZrNb層と、厚さ5nmのFe-C層(炭素濃度:5at%)とを交互に20回ずつ順次積層して総膜厚5

00 nm (合計40層)の本発明の複合磁性薄膜サンプル1 (実施例1サンプル)を形成した。

【0048】

成膜後に測定された磁化曲線を図5に示した。図5に示される磁化曲線から明らかなように、積層膜では面内一軸磁気異方性が観察されており、飽和磁化として14.7 kG (1.47 T)、異方性磁界として45 Oe、磁化容易軸の保磁力として1.1 Oeが得られた。

【0049】

さらに、この複合磁性薄膜サンプル1の高周波透磁率特性を図6に示した。図6に示されるグラフより、共鳴周波数は測定限界の2 GHzを超えており、GHz領域で透磁率の実数部 (μ') が400以上であることが分かる。また性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は1 GHzでは13の値が得られ、2 GHzでは2以上の値が得られていることが分かる。

【0050】

〔実施例2〕

上記実施例1の成膜手法に基き、厚さ20 nmのCoZrNb層と、厚さ20 nmのFe-C層 (炭素濃度: 5 at%)とを交互に13層ずつ順次積層して総膜厚520 nm (合計26層)の本発明の複合磁性薄膜サンプル2 (実施例2サンプル)を形成した。

【0051】

成膜後に測定された磁化曲線を図7に示した。図7に示される磁化曲線から明らかなように、積層膜では面内一軸磁気異方性が観察されており、飽和磁化として16.3 kG (1.63 T)、異方性磁界として44 Oe、磁化容易軸の保磁力として1.2 Oeが得られた。

【0052】

また、この複合磁性薄膜サンプル2の高周波透磁率特性を図8に示した。図8に示されるグラフによれば、透磁率の実数部 (μ') が1 GHzでは540の値が得られ、1.5 GHzでは670の値が得られていることが分かる。また性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は1 GHzでは4.7の値が得られており、1.5 GHz

H z では 2 以上の値が得られていることが分かる。

【0053】

〔実施例 3〕

上記実施例 1 の成膜手法に基き、厚さ 20 nm の CoZrNb 層と、厚さ 50 nm の Fe-C 層（炭素濃度：5 at %）とを交互に 7 層ずつ順次積層して総膜厚 490 nm（合計 14 層）の本発明の複合磁性薄膜サンプル 3（実施例サンプル 3）を形成した。

【0054】

成膜後に測定された磁化曲線を図 9 に示した。図 9 に示される磁化曲線から明らかなように、積層膜では面内一軸磁気異方性が観察されており、飽和磁化として 16.7 kG（1.67 T）、異方性磁界として 480 e、磁化容易軸の保磁力として 1.60 e が得られた。

【0055】

また、この複合磁性薄膜サンプル 1 の高周波透磁率特性を図 10 に示した。図 10 に示されるグラフから、GHz 領域で透磁率の実数部（ μ' ）が 500 以上であることが分かる。また性能指数 Q（ $Q = \mu' / \mu''$ ）は 1 GHz では 6 以上の値が得られ、2 GHz では 2 以上の値が得られていることが分かる。

【0056】

〔比較例 1〕

上記実施例 1 の成膜手法に基き、厚さ 20 nm の CoZrNb 層と、厚さ 2 nm の Fe-C 層（炭素濃度：5 at %）とを交互に 20 層ずつ順次積層して総膜厚 440 nm（合計 40 層）の比較例の複合磁性薄膜サンプル 1（比較例サンプル 1）を形成した。

【0057】

上記の実施例に準じた方法によって、複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、12.5 kG（1.25 T）の飽和磁化、200 e の異方性磁界、1.10 e の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

【0058】

また、1 GHz における透磁率の実数部（ μ' ）は、900 であり、1 GHz

での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は、1.3 の値が得られた。

【0059】

〔比較例 2〕

上記実施例 1 の成膜手法に基き、厚さ 20 nm の CoZrNb 層と、厚さ 80 nm の Fe-C 層（炭素濃度：5 at%）とを交互に 7 層ずつ順次積層して総膜厚 700 nm（合計 14 層）の比較例の複合磁性薄膜サンプル 2（比較例サンプル 2）を形成した。

【0060】

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、18.0 kG（1.8 T）の飽和磁化、920 e の異方性磁界、2.80 e の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

【0061】

また、1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は、200 であり、1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は、8 の値が得られた。

【0062】

〔実施例 4〕

上記実施例 1 において、Fe-C 層の炭素濃度を 5 at% から 7 at% に代えた。それ以外は、上記実施例 1 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜サンプル 4（実施例サンプル 4）を形成した。

【0063】

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、14.7 kG（1.47 T）の飽和磁化、420 e の異方性磁界、1.00 e の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

【0064】

また、1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は、410 であり、1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は、14 の値が得られた。

【0065】

〔実施例 5〕

上記実施例 1 において、Fe-C 層の炭素濃度を 5 at% から 10 at% に代

えた。それ以外は、上記実施例 1 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜サンプル 5（実施例サンプル 5）を形成した。

【0066】

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、14.5 kG (1.45 T) の飽和磁化、400 e の異方性磁界、1.00 e の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

【0067】

また、1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は、490 であり、1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は、11 の値が得られた。

【0068】

〔比較例 3〕

上記実施例 1 において、Fe-C 層を Fe 層に代えた。それ以外は、上記実施例 1 と同様にして、比較例の複合磁性薄膜サンプル 3（比較例サンプル 3）を形成した。

【0069】

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、15.0 kG (1.5 T) の飽和磁化、400 e の異方性磁界、2.50 e の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

【0070】

また、1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は、250 であり、1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は、1.0 の値が得られた。

【0071】

〔実施例 6〕

上記実施例 1 において、Co 系非結晶質合金層の組成である $\text{Co}_{87}\text{Zr}_5\text{Nb}_8$ を、 $\text{Co}_{89}\text{Zr}_6\text{Ta}_5$ に代えた。それ以外は、上記実施例 1 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜サンプル 6（実施例サンプル 6）を形成した。

【0072】

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、14.9 kG (1.49 T) の飽和磁化、440 e の異方性磁界、1.10

eの磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

【0073】

また、1GHzにおける透磁率の実数部(μ')は、455であり、1GHzでの性能指数Q($Q = \mu' / \mu''$)は、11の値が得られた。

【0074】

〔実施例7〕

上記実施例1において、Co系非結晶質合金層の組成である $\text{Co}_{87}\text{Zr}_5\text{Nb}_8$ を、 $\text{Co}_{80}\text{Fe}_9\text{Zr}_3\text{B}_8$ に代えた。それ以外は、上記実施例1と同様にして、本発明の複合磁性薄膜サンプル7（実施例サンプル7）を形成した。

【0075】

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、14.7kG(1.47T)の飽和磁化、480eの異方性磁界、1.20eの磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

【0076】

また、1GHzにおける透磁率の実数部(μ')は、410であり、1GHzでの性能指数Q($Q = \mu' / \mu''$)は、12の値が得られた。

【0077】

〔比較例4〕

上記実施例1において、厚さ500nmの複合磁性薄膜を、厚さ500nmの $\text{Co}_{87}\text{Zr}_5\text{Nb}_8$ の単層膜に代えた。それ以外は、上記実施例1と同様にして、比較例の複合磁性薄膜サンプル4（比較例サンプル4）を形成した。

【0078】

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、11.5kG(1.15T)の飽和磁化、150eの異方性磁界、0.80eの磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

【0079】

また、1GHzにおける透磁率の実数部(μ')は、1091であり、1GHzでの性能指数Q($Q = \mu' / \mu''$)は、1.0の値が得られた。

【0080】

〔比較例 5〕

上記実施例 1 において、厚さ 500 nm の複合磁性薄膜を、厚さ 1000 nm の $\text{Co}_{89}\text{Zr}_6\text{Ta}_5$ の単層膜に代えた。それ以外は、上記実施例 1 と同様にして、比較例の複合磁性薄膜サンプル 5（比較例サンプル 5）を形成した。

【0081】

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、13 kG (1.3 T) の飽和磁化、160 e の異方性磁界、0.90 e の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

【0082】

また、1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は、325 であり、1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は、0.5 の値が得られた。

【0083】

〔比較例 6〕

上記実施例 1 において、厚さ 500 nm の複合磁性薄膜を、厚さ 1000 nm の $\text{Co}_{79}\text{Fe}_9\text{Zr}_2\text{Ta}_{10}$ の単層膜に代えた。それ以外は、上記実施例 1 と同様にして、比較例の複合磁性薄膜サンプル 6（比較例サンプル 6）を形成した。

【0084】

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、11 kG (1.1 T) の飽和磁化、360 e の異方性磁界、1.10 e の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

【0085】

また、1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は、327 であり、1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は、1.8 の値が得られた。

【0086】

これらの結果を含めた測定値を下記表 1 にまとめて示した。

【0087】

【表 1】

表 1

	磁性薄膜構成	T1 (nm)	T1/T2	飽和磁化 (T)	異方性磁界 (Oe)	共振周波數 (GHz)	μ' (at1GHz)	μ'' (at1GHz)	Q (at1GHz)	比抵抗 ($\mu\Omega$ cm)	保磁力 H _{ce} (Oe)
実施例 1	(20nm CoZrNb/5nm Fe-C ₉) × 20	5	0.25	1.47	45	>>2.0	405	30	13	90	1.1
実施例 2	(20nm CoZrNb/20nm Fe-C ₉) × 13	20	1.00	1.63	44	>>2.0	540	115	4.7	60	1.2
実施例 3	(20nm CoZrNb/50nm Fe-C ₉) × 7	50	2.50	1.67	48	>>2.0	500	80	6.2	50	1.6
比較例 1	(20nm CoZrNb/2nm Fe-C ₉) × 20	2	0.10	1.25	20	1.5	900	700	1.3	100	1.1
比較例 2	(20nm CoZrNb/80nm Fe-C ₉) × 7	80	4.00	1.80	92	>>2.0	200	25	8	48	2.8
実施例 4	(20nm CoZrNb/5nm Fe-C ₉) × 20	5	0.25	1.47	42	>>2.0	410	30	14	90	1.0
実施例 5	(20nm CoZrNb/5nm Fe-C ₉) × 20	5	0.25	1.45	40	>>2.0	490	45	11	88	1.0
比較例 3	(20nm CoZrNb/5nm Fe) × 20	-	-	1.50	40	1.4	250	240	1.0	45	2.5
実施例 6	(20nm CoZrTa/5nm Fe-C ₉) × 20	5	0.25	1.49	44	>>2.0	455	40	11	85	1.1
実施例 7	(20nm CoFeZrB/5nm Fe-C ₉) × 20	5	0.25	1.47	48	>>2.0	410	35	12	105	1.2
比較例 4	500nm Co ₉ Zr ₃ Nb ₈	-	-	1.15	15	1.25	1091	1068	1.0	120	0.8
比較例 5	1000nm Co ₉ Zr ₆ Ta ₅	-	-	1.3	16	1.3	325	612	0.5	101	0.9
比較例 6	1000nm Co ₉ Fe ₃ Zr ₂ Ta ₁₀	-	-	1.10	36	1.8	327	191	1.7	125	1.1

【0088】

【発明の効果】

上記の結果より本発明の効果は明らかである。すなわち、本発明は、C o系非結晶質合金層とF e-C層とを交互に積層して多層膜構造とした高周波用磁性薄膜であって、前記F e-C層の厚さをT1、前記C o系非結晶質合金層の厚さをT2とした場合に、 $T1/T2$ の比が0.15～3.50の範囲にあり、かつF e-C層の厚さT1が、3～70nmの範囲内となるように構成されているので、高い飽和磁化を有するとともに、GHzの高周波帯域で高い透磁率および性能指数Qを示すという優れた効果が発現する。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の高周波用磁性薄膜の断面図である。

【図2】

インダクタの一例を示す平面図である。

【図3】

図2のA-A矢視断面図である。

【図4】

インダクタの一例を示す断面図である。

【図5】

実施例1サンプルの磁化曲線である。

【図6】

実施例1サンプルの高周波透磁率特性を示すグラフである。

【図7】

実施例2サンプルの磁化曲線である。

【図8】

実施例2サンプルの高周波透磁率特性を示すグラフである。

【図9】

実施例3サンプルの磁化曲線である。

【図10】

実施例3サンプルの高周波透磁率特性を示すグラフである。

【図 11】

ガラス基板の上に Fe-C 膜を厚膜にスパッタ成膜させた時の Fe-C 膜の結晶粒の状態を示す断面図である。

【符号の説明】

- 1 … 高周波用磁性薄膜
- 2 … 基板
- 3 … Co 系非結晶質合金層
- 7 … Fe-C 層

【書類名】

図面

【図1】

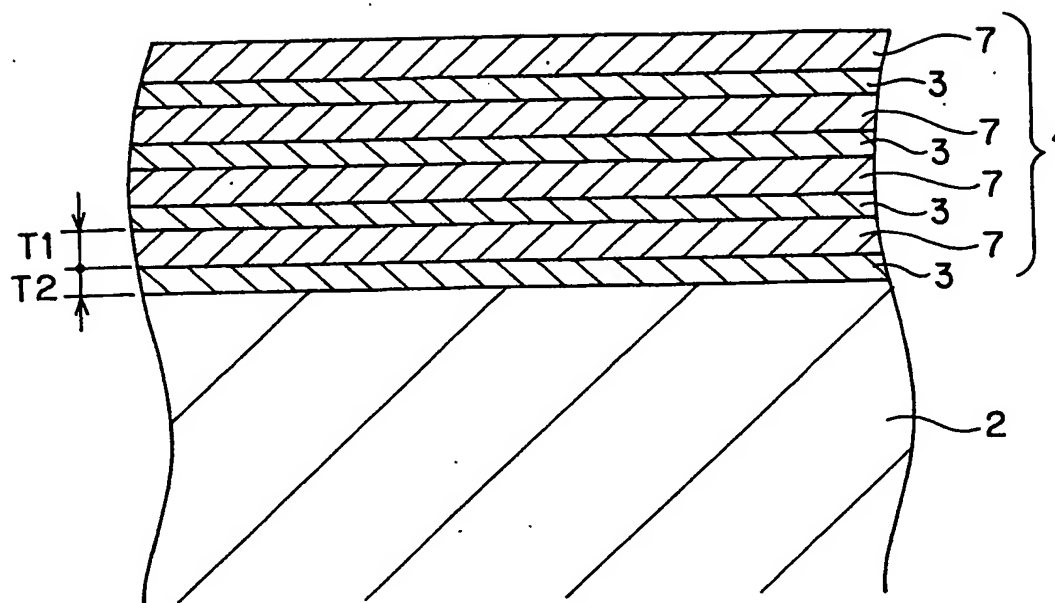


FIG. 1

【図 2】

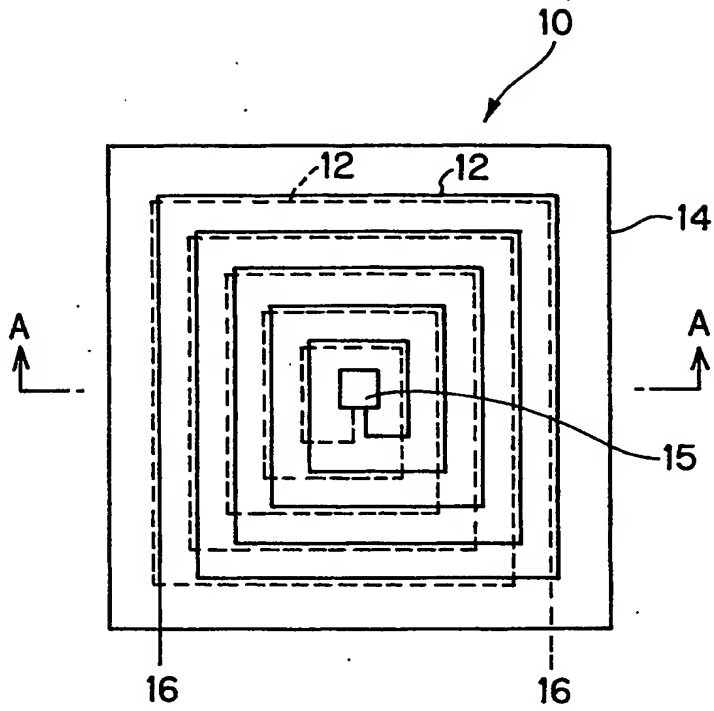


FIG. 2

【図 3】

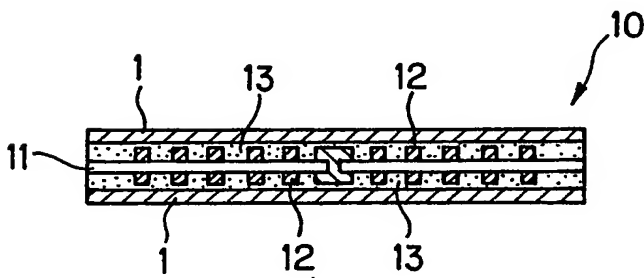


FIG. 3

【図 4】

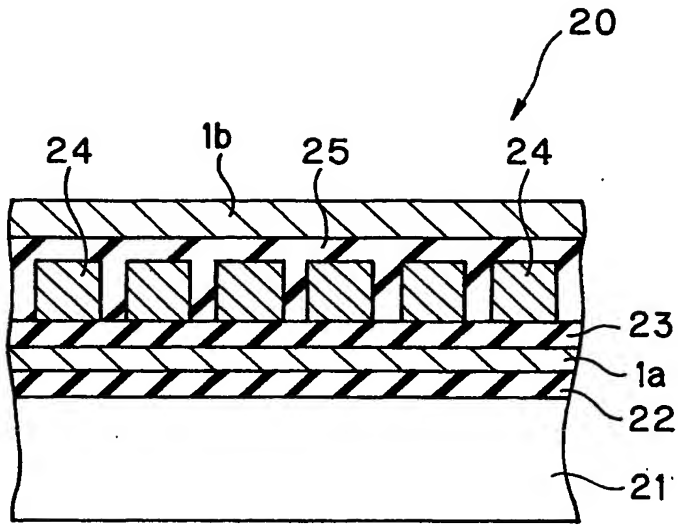


FIG. 4

【図 5】

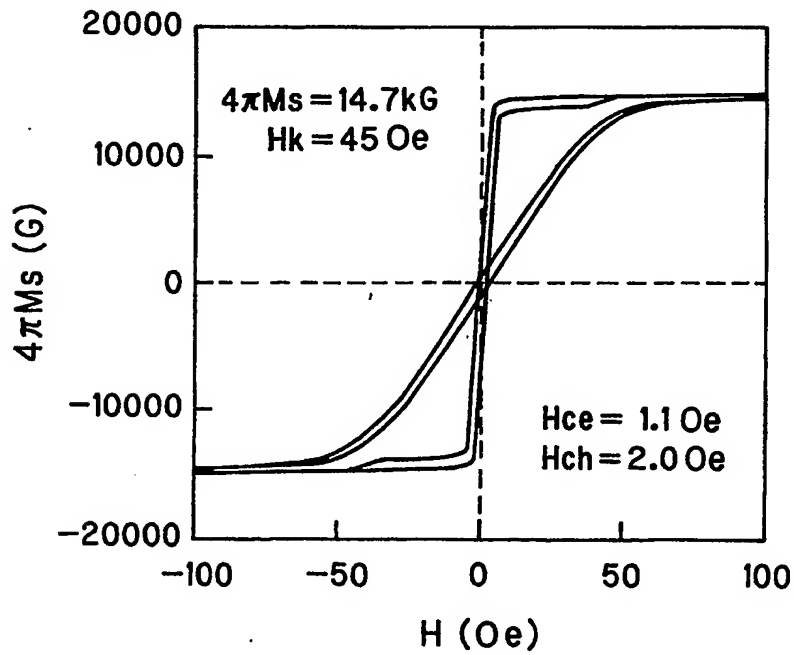


FIG. 5

【図 6】

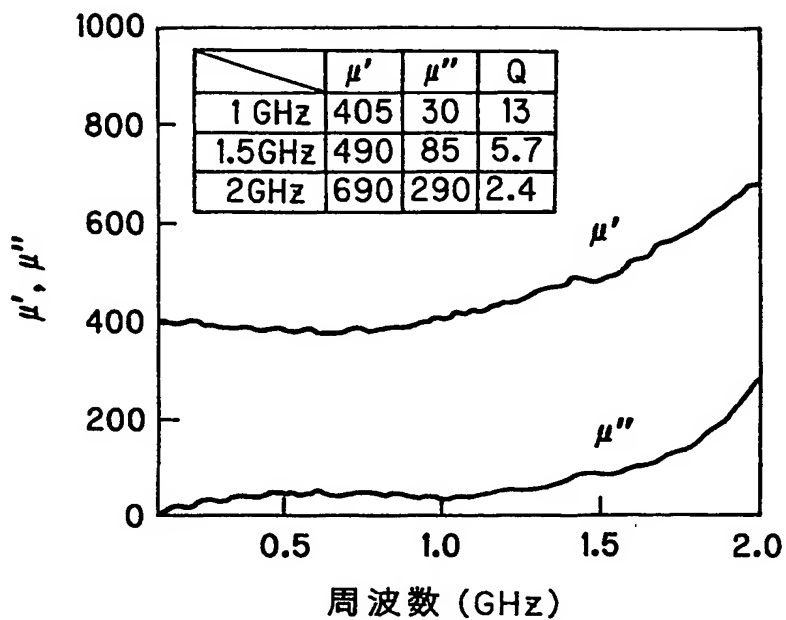


FIG. 6

【図 7】

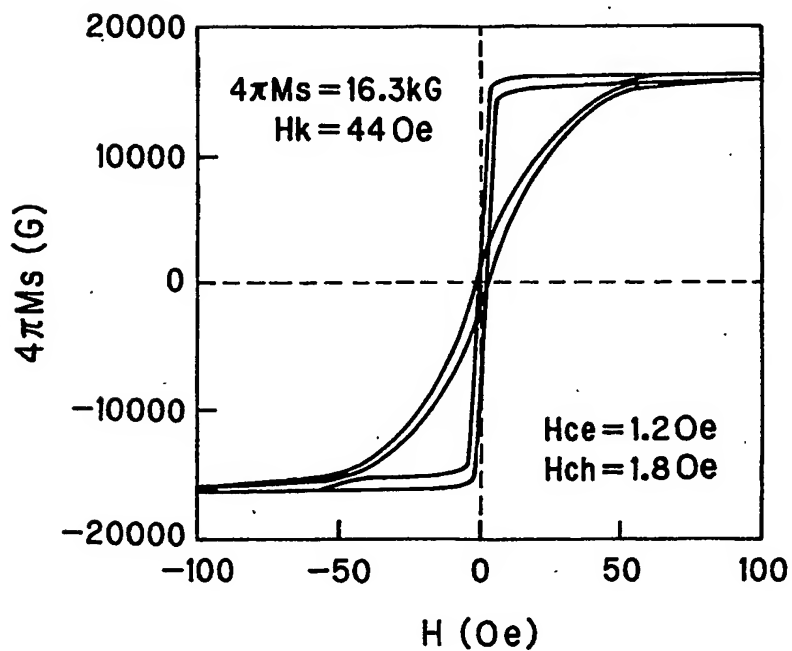


FIG. 7

【図 8】

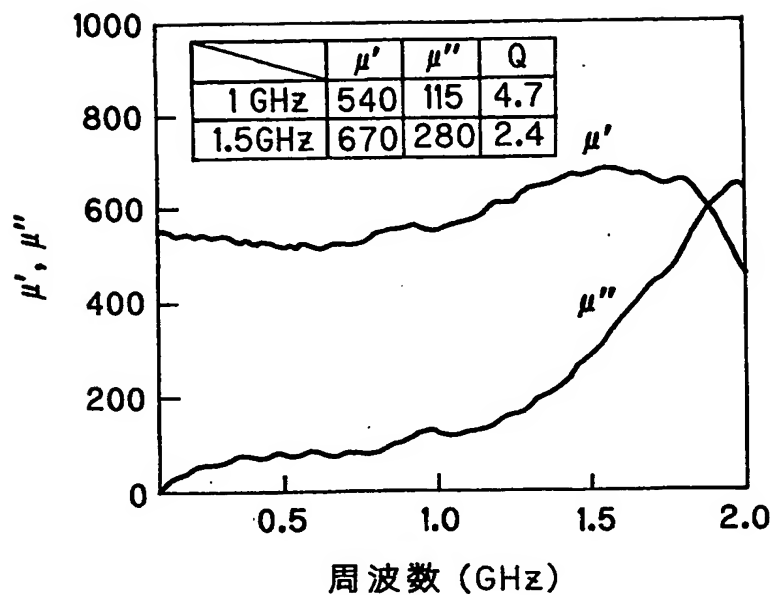


FIG. 8

【図 9】

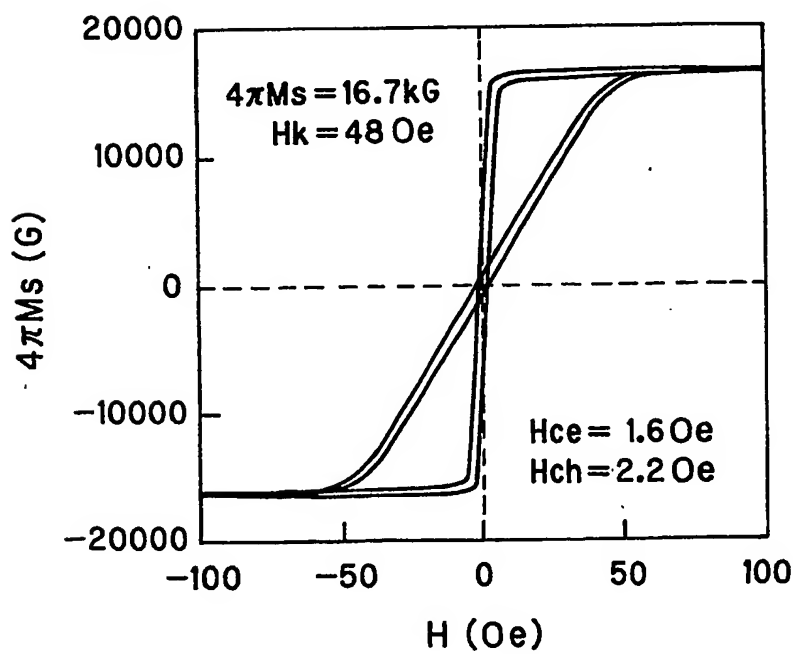


FIG. 9

【図 10】

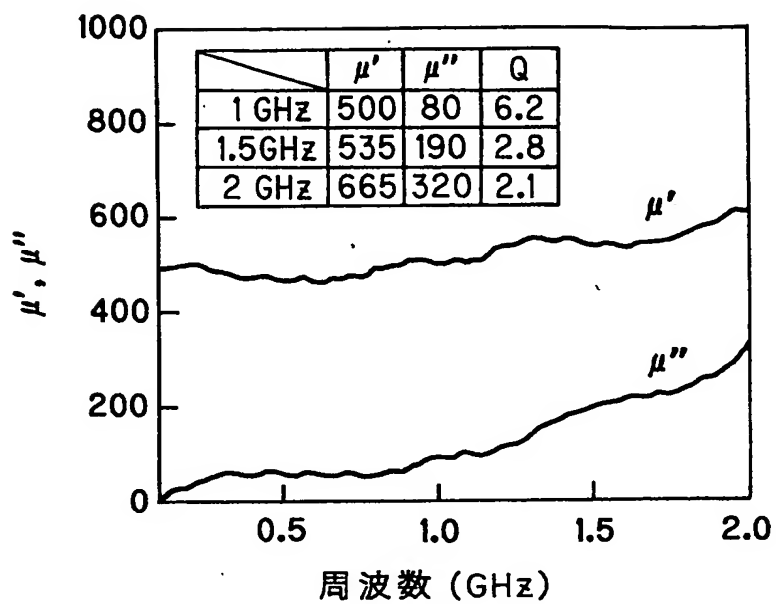


FIG. 10

【図 11】

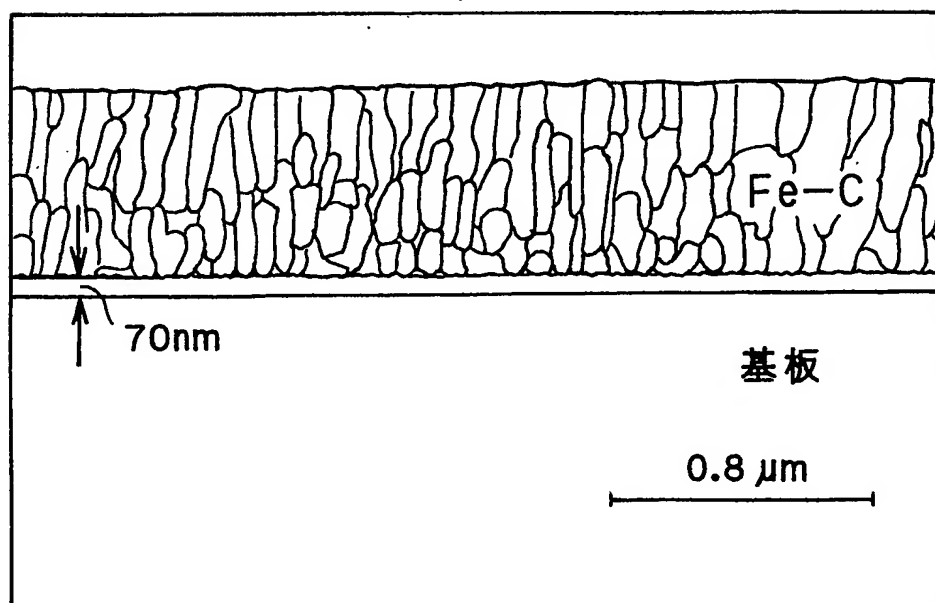


FIG.11

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 GHz帯域の高周波領域で、高い透磁率を有し、かつ高い飽和磁化を有する高周波用磁性薄膜を提供する。

【解決手段】 Co系非結晶質合金層とFe-C層とを交互に積層して多層膜構造とした高周波用磁性薄膜であって、前記Fe-C層の厚さをT1、前記Co系非結晶質合金層の厚さをT2とした場合に、 $T1/T2$ の比が0.15～3.50の範囲にあり、かつFe-C層の厚さT1が、3～70nmの範囲内となるように構成する。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000003067]

1. 変更年月日

1990年 8月30日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都中央区日本橋1丁目13番1号

氏 名

ティーディーケイ株式会社